

補助事業番号 2021M-220  
補助事業名 2021年度 桃・ぶどう農場での運搬作業を支援する運搬ビークルの開発  
補助事業  
補助事業者名 山梨大学 野田 善之

## 1 研究の概要

本研究では不整地かつ傾斜地が多い果樹園において、収穫物を傷つけず効率よく運ぶことを支援する運搬ビークルを開発した。本研究で開発した運搬ビークルは、傾斜地でも荷崩れを生じさせないために荷台を水平化する荷台水平化機構を搭載している。この荷台水平化機構はパラレルリンクと4台のサーボモータで構成され、荷台のロール方向とピッチ方向の姿勢を制御できる。荷台背面に姿勢角センサを設置することで重力に対する荷台姿勢角を検出することができ、荷台水平化を実現できる。また、運搬ビークルの操作ハンドルに6軸力覚センサを設置し、操作力を検出できる。検出された操作力に応じて車輪駆動モータがアシスト駆動するパワーアシストシステムを開発している。開発した運搬ビークルを屋外でトライアル走行実験を行い、最大積載量80kgで12°の傾斜地でも荷台を水平化し、運搬ビークルを自在に操作することができることを示した。また、車輪に大径ファットタイヤを採用したことで路面からの振動を抑制し、収穫物に優しい運搬を可能にする運搬ビークルを実現した。

## 2 研究の目的と背景

ぶどうや桃などの高価な農産物は、その栽培に多大な手間がかかる。その中でも収穫物の運搬作業は収穫物を傷つけずに運ぶことが求められることから、収穫場所から選別・梱包場所までの運搬は人手で行われているのが現状である。しかし、雑草地や不整地での収穫物の往復運搬作業は重筋労働であり、雑草地での運搬作業は転倒の危険性が高い。農業従事者の高齢化や農業での女性の活躍が期待されている中で、このような重筋労働の軽労化や作業環境の改善が喫緊の課題となっている。

そこで本研究では、果樹園での収穫場所から選別・梱包場所までの往復運搬作業に対して、雑草地や不整地、傾斜地でも自律的に走行でき、地面の凹凸による振動を低減させ、収穫物を優しく運搬できる運搬ビークルを開発する。そして、果樹園での実証試験を行い、開発した運搬ビークルの有効性を確認し、実用化に向けた基盤技術を確立する。

## 3 研究内容

### (1) 傾斜地や不整地での荷台水平化を可能とする運搬ビークルの開発

([http://www.me.yamanashi.ac.jp/lab/noda/study\\_vehicle\\_lp.html](http://www.me.yamanashi.ac.jp/lab/noda/study_vehicle_lp.html))

#### ①本研究で開発した荷台水平化機構を有する運搬ビークルの概要

本研究で開発した運搬ビークルを図1に示す。本ビークルは前2輪が駆動輪、後2輪が従動輪である。悪路での走破性を高めるために、駆動輪は大径ファットタイヤ（直径0.56m

×幅0.10m (20×4.0inch)) を用いる。また、操作ハンドルの支持部に6軸力覚センサを搭載しており、センサで検出された操作力に応じてモータ駆動でアシストするパワーアシスト機能を有する。ビークル全長は1.10mであり、全幅は0.90mである。荷台寸法は前後方向に0.90m、左右方向に0.65mであり、最大積載量は80kgである。荷台下には平行リンクによる荷台水平化機構を内蔵している。車体内部にはモータドライバや車載コンピュータ、リチウムイオンバッテリー荷台水平化機構の構成を図2に示す。荷台4辺のそれぞれの中央にリンク機構を配置し、DCサーボモータを駆動することでリンク先端を昇降することができる。荷台とリンク先端は球面ジョイントで連結する。また、荷台中央には荷台支持用固定フレームを設置し、フレームと荷台はユニバーサルジョイントで連結する。このリンク機構は荷台をピッチ方向(X軸まわり回転)とロール方向(Y軸まわり回転)に姿勢を変えることができる2自由度機構である。荷台の可動範囲はピッチ、ロール方向ともに±15degである。荷台の姿勢角は荷台に設置されたIMU (Inertial Measurement Unit)



図1 運搬ビークル外観

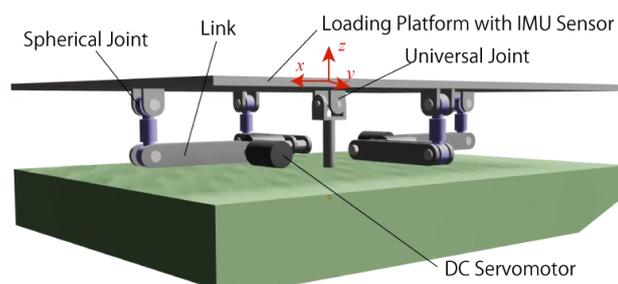


図2 平行リンクによる荷台水平化機構

センサで計測される。

## ②運搬ビークルの制御システム

本研究で開発した運搬ビークルは荷台姿勢制御システムと操作力に応じた車輪駆動力を生成し、運搬ビークル操作をアシストするパワーアシスト制御システムを搭載している。荷台姿勢制御システムでは、IMUセンサで計測される荷台姿勢角に対してPID制御を用いることで荷台が水平化するように荷台直下の従動リンク姿勢角速度を求め、そしてリンク機構の逆運動学計算によりモータに直結されている駆動リンク姿勢角速度を求め、リンク駆動用サーボモータは角速度PD制御を実装することで、逆運動学計算で得られた駆動リンク姿勢角速度を高精度に実現する。荷台4辺それぞれの中央にリンク機構を配置し、それぞれのリンク機構にサーボモータを搭載している。一方で、荷台運動の自由度はロール方向とピッチ方向の2自由度運動のため、過剰な駆動拘束となり、荷台水平化機構を破損させる原因となり得る。そこで、本研究ではリンク駆動用サーボモータを、積分器を含まない角速度PD制御とすることで、過剰な駆動拘束を回避している。荷台姿勢角に対してはPID制御を実装することで、荷物の重量変動や慣性モーメント変動などの外乱要因に対応している。荷台姿勢制御システムでは装置の安全性を考慮して、ハードウェアリミット±15degに対してソフトウェアリミットを±12degとしている。

パワーアシスト制御システムでは、操作ハンドルに搭載している6軸力覚センサで操作力を検出し、検出した操作力に応じてアドミタンス制御で駆動用サーボモータへ角速度指令を与えている。ここで、動き出し時や急激な方向転換の際に、従動輪が運搬ビークルの進行方向と異なる方向を向いており、この現象がパワーアシスト制御システムへの過大かつ急激な変動を伴う外乱となる。サーボモータは一般的にPID制御が実装されているため、外乱に対抗するように積分器が働く。しかし、従動輪の方向による過大かつ急激な変動外乱に対しては積分器の応答が大幅に遅れることとなり、この応答遅れがパワーアシスト制御システムの操作性を劣化させることとなる。そこで、本研究ではサーボドライバ内の角速度制御をPD制御によることで積分器の応答遅れを回避している。また、アドミタンス制御では一般的に粘性抵抗をモデル化した一次遅れフィルタが適用される。しかし、粘性抵抗は速度に応じて抵抗力を増大させるため、高速走行時の抵抗力を感じる事となる。そこで、本研究では低速は粘性抵抗とし、高速は動摩擦抵抗とする仮想モデルを備えたアドミタンス制御を開発した。これらの制御システム開発により、高い操作性を有するパワーアシスト制御を実現した。

### ③実験検証

本研究で開発した運搬ビークルを図3に示す芝生が生えている傾斜面を走行させ、荷台水平化性能を実験検証した。図3に示す破線矢印は運搬ビークルの走行経路を示す。比較的的水平は地面から走行を開始し、傾斜地である丘を斜行するように移動して最終的に丘を下る。丘の最大傾斜地は12degである。実験結果を図4に示す。図4の上段グラフはピッチ方向（ビークル左右方向を回転軸）の結果を示し、下段グラフはロール方向（ビークル前後方向を回転軸）の結果を示す。橙色実線はビークル車体の姿勢角であり、地面傾斜角と見なすことができる。青色実線は荷台姿勢角を示す。ビークル車体姿勢がピッチ方向で7deg、ロール方向で12deg傾斜しても荷台が水平化されていることが確認できる。また、傾斜地で方向転換しても荷台が水平であることも実験結果より確認できる。



図3 トライアル走行実験の環境

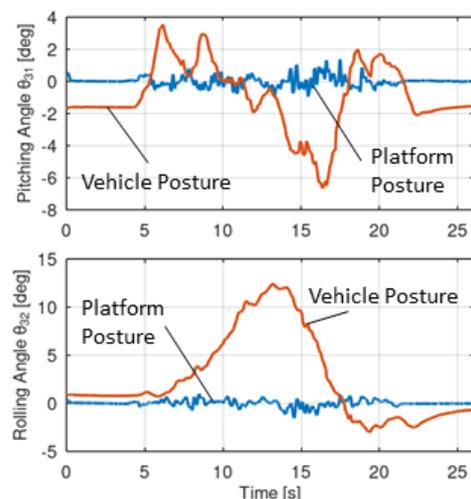


図4 車体角度と荷台角度の実験結果

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究は受益者である農業従事者との繋がりをもつ山梨県果樹試験場と共同で研究開発している。したがって、果樹園での作業環境における課題などを議論し、本研究課題である運搬ビークルを開発した。山梨県果樹試験場内の桃農場でトライアル走行を行った際に関係者から高い評価を受けており、2023年度には桃収穫時に運搬ビークルのトライアル運用を実施する方向で開発を進めている。今後は実用化に向けた取り組みを進める一方で、林業への展開など傾斜地での運搬作業に寄与する技術開発を進めていく。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究の代表者は、これまでに平行二輪運搬ビークルなど不整地や傾斜地での安全な荷物運搬を実現する技術開発を進めてきた。今回の研究では社会ニーズを踏まえ、最大積載量を実用化に向けて取り組めるように80kgと増大させ、荷台水平化性能も10degを超える傾斜地でも水平化を可能とする運搬ビークルを開発した。最大積載量や荷台姿勢角度ともに従来研究を大幅に超えるものであり、社会に与える影響は大きいものである。また、今回の研究によって、最大積載量や傾斜面が更に厳しい林業に向けた技術開発の可能性も見えてきており、今後の発展が期待できる。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

・野田善之, 佐郷幸法, 柿原亮也, 柿原清章, 農地運搬ビークルにおけるパラレルリンクを用いた荷台水平化システムの開発, 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会概要集, 2667-2671頁, 2022年

#### 7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

- ・開発技術のパンフレット ([http://www.me.yamanashi.ac.jp/lab/noda/vehicle\\_lp.pdf](http://www.me.yamanashi.ac.jp/lab/noda/vehicle_lp.pdf))
- ・開発技術紹介サイト ([http://www.me.yamanashi.ac.jp/lab/noda/study\\_vehicle\\_lp.html](http://www.me.yamanashi.ac.jp/lab/noda/study_vehicle_lp.html))

#### 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 山梨大学工学部（ヤマナシダイガクコウガクブ）

住 所： 〒400-8511

山梨県甲府市武田4-3-11

担 当 者： 教授 野田 善之（ノダ ヨシユキ）

担 当 部 署： 機械工学科（キカイコウガクカ）

E - m a i l : noday@yamanashi.ac.jp

U R L : <http://www.me.yamanashi.ac.jp/lab/noda/>